

**DEVICE FOR REMOVING MATERIAL FROM WORKPIECES BY MEANS OF A LASER BEAM**

**Patent number:** DE19920813  
**Publication date:** 2001-06-28  
**Inventor:** DAUSINGER FRIEDRICH (DE); WAWRA THOMAS (DE)  
**Applicant:** BOSCH GMBH ROBERT (DE)  
**Classification:**  
- **international:** B23K26/06; B23K26/38; B23K26/00; B23K26/06; (IPC1-7): B23K26/00  
- **european:** B23K26/06; B23K26/38B  
**Application number:** DE19991020813 19990506  
**Priority number(s):** DE19991020813 19990506

**Also published as:**

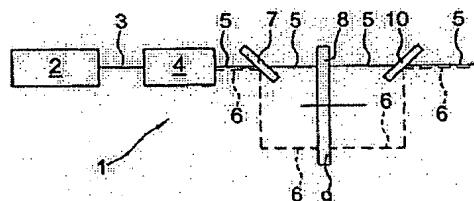
WO0067945 (A1)  
EP1097021 (A1)

[Report a data error here](#)

Abstract not available for DE19920813

Abstract of corresponding document: WO0067945

The invention relates to a device for removing material from a workpiece by means of a laser beam, especially a laser drilling device. The inventive device comprises a laser arrangement for producing a laser beam which consists of at least one laser pulse that is characterised by parameter values such as pulse duration and laser wavelength for instance. The aim of the invention is to improve such a device with regard to progress and accuracy of removal. The laser arrangement is configured in such a way that it produces at least two types of laser pulses which differ in at least one parameter value.

Data supplied from the [esp@cenet](mailto:esp@cenet) database - Worldwide



②1 Aktenzeichen: 199 20 813.1  
②2 Anmeldetag: 6. 5. 1999  
④3 Offenlegungstag: 28. 6. 2001

⑦1 Anmelder:  
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

⑦2 Erfinder:  
Dausinger, Friedrich, Dr., 70193 Stuttgart, DE;  
Wawra, Thomas, 89558 Böhmenkirch, DE

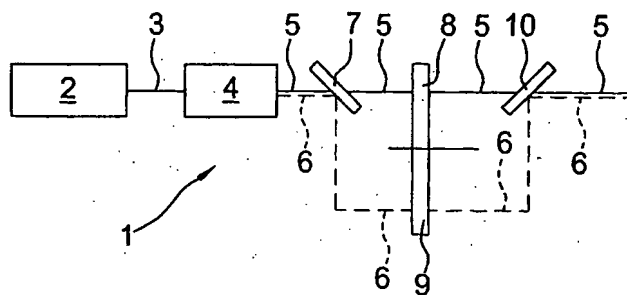
⑤6 Entgegenhaltungen:  
GB 22 86 787 A  
GB 22 18 660 A  
US 48 39 497  
Pat. Abstr. of Japan. M-1639, 1994, Vol.18,  
No.380. JP6-106378 A;

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Vorrichtung zum Materialabtragen bei Werkstücken mittels Laserstrahl

⑤7 Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum Abtragen von Material bei einem Werkstück mittels eines Laserstrahles, insbesondere eine Laserbohrvorrichtung, umfassend eine Laseranordnung zur Erzeugung eines Laserstrahles, der aus wenigstens einem Laserpuls besteht, der durch Parameterwerte wie z. B. Pulsdauer, Pulsabstand, Laserwellenlänge, Laserintensität charakterisiert ist. Um eine derartige Vorrichtung hinsichtlich Abtragungsfortschritt und Abtragungspräzision zu verbessern, wird erfindungsgemäß vorgeschlagen, die Laseranordnung so auszugestalten, daß sie wenigstens zwei Typen von Laserpulsen erzeugt, die sich hinsichtlich mindestens eines Parameterwertes unterscheiden.



Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum Abtragen von Material bei einem Werkstück mittels eines Laserstrahles mit den Merkmalen des Oberbegriffes des Anspruches 1.

Eine derartige Vorrichtung umfaßt üblicherweise eine Laseranordnung zur Erzeugung eines Laserstrahles aus wenigstens einem Laserpuls, der Parameterwerte zumindest für Laserwellenlänge, Pulsdauer, Pulsabstand und Laserintensität aufweist.

Vorrichtungen dieser Art werden insbesondere dazu verwendet, in einem Werkstück Bohrungen mit höchster Präzision auszubilden. Obwohl die Erfindung im folgenden mit Bezug auf eine Laserbohrvorrichtung beschrieben ist, ist klar, daß die erfindungsgemäßen Maßnahmen auch bei anderen Vorrichtungen anwendbar sind, die mittels Laserstrahl bei einem Werkstück eine präzise Materialabtragung bewirken, unabhängig davon, ob diese Materialabtragung nach Art eines Bohr-, Fräs- oder Schneidvorganges od. dgl. erfolgt.

Beim Ausbilden einer Laserbohrung wird an der Auftreffstelle des Laserstrahls das Material durch Verflüssigung und Verdampfung abgetragen bzw. ausgetrieben. Die Präzision einer derartigen Laserbohrung wird durch unvollständig ausgetriebenes Material, das sich vor allem als Schmelze im Bohrloch ablagert, erheblich beeinträchtigt. Um den Materialaustrieb zu verbessern, kann die Laserintensität gesteigert werden. Dadurch erhöht sich der durch den Laserstrahl erzeugte Dampfdruck und damit auch der Materialaustrieb. Ein erhöhter Dampfdruck bewirkt jedoch gleichzeitig eine verstärkte Abschirmung des Laserstrahls, wodurch sich die Bohrgeschwindigkeit sowie die maximal erreichbare Bohrtiefe reduzieren.

Dieser Zusammenhang wird damit begründet, daß sich beim Laserbohren im Bohrloch Plasma bildet, das die Laserstrahlung teilweise absorbiert und somit abschwächt, so daß sich die Bohrgeschwindigkeit und die maximal erreichbare Bohrtiefe verringern. Gleichzeitig wird das Plasma durch das teilweise Absorbieren des Laserstrahls erwärmt, wodurch sich im Plasma der Druck erhöht, was dazu führt, daß sich der Materialaustrieb und somit die Bohrpräzision verbessert. Außerdem bewirkt das Plasma eine Glättung und Aufweitung der Bohrungswandung.

#### Vorteile der Erfindung

Die erfindungsgemäße Vorrichtung, insbesondere wenn sie als Laserbohrvorrichtung ausgebildet ist, hat demgegenüber den Vorteil, daß die Laseranlage mit wenigstens zwei Typen von Laserpulsen arbeitet, wobei der eine Laserpulstyp durch eine geeignete Wahl seiner Parameterwerte, z. B. beim Bohren hinsichtlich einer maximalen Bohrtiefe und Bohrgeschwindigkeit ausgelegt ist, während der andere Laserpulstyp durch eine entsprechende Auswahl seiner Parameterwerte, z. B. beim Bohren hinsichtlich eines maximalen Materialaustriebes optimiert ist. Die wenigstens zwei Laserpulstypen können dabei so aufeinander abgestimmt werden, daß sich beispielsweise bei einer Laserbohrvorrichtung optimale Werte für die maximal erreichbare Bohrtiefe, für die Bohrgeschwindigkeit und für die Präzision der Bohrung ergeben.

Die Erfindung beruht dabei auf der Erkenntnis, daß z. B. beim Laserbohren die Werte für Bohrtiefe, Bohrfortschritt und Bohrqualität von bestimmten Parameterwerten des Laserpulses besonders stark abhängen. Die insoweit wichtigen Parameterwerte sind z. B. Laserintensität, Laserwellen-

länge, Pulsdauer und Pulsabstand, wobei letzterer den zeitlichen Abstand zwischen aufeinanderfolgenden Laserpulsen wiedergibt und mit der Pulsfrequenz des Laserstrahles korreliert.

Beispielsweise nimmt eine Wechselwirkung elektromagnetischer Strahlung mit einem im Bohrloch vorhandenen Plasma mit der Laserwellenlänge zu; die Wechselwirkung nimmt dabei proportional zum Quadrat der Laserwellenlänge zu. Das bedeutet, daß eine größere Laserwellenlänge eine stärkere Wechselwirkung mit dem Plasma aufweist und somit eine stärkere Plasmabildung sowie eine größere Druckerhöhung im Plasma bewirkt, während eine kürzere Laserwellenlänge weniger Plasma bildet und außerdem relativ ungehindert durch das Plasma hindurchtritt. Somit bewirkt eine kürzere Laserwellenlänge eine höhere Bohrgeschwindigkeit sowie eine größere maximale Bohrtiefe, während eine größere Laserwellenlänge die Bohrqualität verbessert. Ein ähnlicher Zusammenhang ergibt sich durch die Auswahl der Pulsdauer, insbesondere in Verbindung mit einer damit abgestimmten Laserintensität. Während eine längere Pulsdauer selbst bei geringerer Laserintensität einen schnelleren Bohrfortschritt bewirkt und dabei weniger Plasma bildet, sorgt eine kürzere Pulsdauer, insbesondere bei höherer Laserintensität, für eine stärkere Plasmabildung, die Ablagerungen auf der Bohrungswand verhindert bzw. beseitigt, wodurch sich die Bohrpräzision erhöht.

Entsprechend einer vorteilhaften Ausführungsform kann die Laseranordnung so ausgestaltet sein, daß sie einen Laserstrahl erzeugt, bei dem mindestens ein Laserpuls des einen Typs auf wenigstens einen Laserpuls des anderen Typs folgt. Auf diese Weise können z. B. beim Laserbohren Bohrphasen mit hoher Bohrgeschwindigkeit und Bohrphasen mit starkem Materialaustrieb mit Hilfe eines einzigen Laserstrahls erzeugt werden.

Bei einer Variante kann die Laseranordnung so ausgestaltet sein, daß sie zwei koaxiale Laserstrahlen erzeugt, von denen der eine aus wenigstens einem Laserpuls des einen Typs und der andere aus wenigstens einem Laserpuls des anderen Typs besteht. Auf diese Weise bewirkt der eine Laserstrahl eine hohe Bohrgeschwindigkeit und der andere Laserstrahl eine hohe Bohrqualität.

Bei einer anderen Ausführungsform kann die Laseranordnung zwei Lasergeneratoren oder Laser aufweisen, von denen der eine einen Laserstrahl mit mindestens einem Laserpuls des einen Typs und der andere einen Laserstrahl mit mindestens einem Laserpuls des anderen Typs erzeugt, wobei die Laseranordnung dann auch eine Optikanordnung aufweist, die die Laser zusammenschaltet und deren Laserstrahlen koaxial ausrichtet. Durch diese Maßnahmen können bestehende Laseranordnungen, die z. B. entweder zur Erzielung einer hohen Bohrgeschwindigkeit oder zur Erzielung einer hohen Bohrpräzision optimiert sind, zur erfindungsgemäßen Vorrichtung zusammengesetzt werden, die die Vorteile beider Laser nutzt.

Bei einer besonderen Ausführungsform kann die Pulsdauer wenigstens eines der Laserpulstypen etwa so groß sein wie die Zeitdauer, die zur Durchführung eines Materialabtragungsvorganges, insbesondere einer Bohrung, erforderlich ist.

Weitere wichtige Merkmale und Vorteile der erfindungsgemäßen Vorrichtung ergeben sich aus den Unteransprüchen, aus den Zeichnungen und aus der zugehörigen Figurenbeschreibung anhand der Zeichnungen.

#### Zeichnungen

Ausführungsbeispiele der erfindungsgemäßen Vorrichtung sind in den Zeichnungen dargestellt und werden im fol-

genden näher erläutert. Es zeigen, jeweils schematisch,

Fig. 1 eine schaltplanartige Prinzipdarstellung einer Vorrichtung nach der Erfindung in einer ersten Ausführungsform und

Fig. 2 eine schaltplanartige Prinzipdarstellung der Vorrichtung nach der Erfindung in einer zweiten Ausführungsform.

Entsprechend Fig. 1 weist bei einer als Laserbohrvorrichtung ausgebildeten Vorrichtung nach der Erfindung eine Laseranordnung 1 in einer ersten Ausführungsform entsprechend Fig. 1 einen zum Bohren geeigneten gepulsten Laser 2 auf, der insbesondere ein gütegeschalteter Festkörperlaser sein kann. Dieser Laser 2 generiert einen Laserstrahl 3, der durch eine durchgezogene Linie symbolisiert ist. Dieser Laserstrahl 3 ist aus Laserpulsen aufgebaut, die eine bestimmte Laserwellenlänge aufweisen. Beispielsweise beträgt diese Laserwellenlänge bei einem Nd:YAG-Laser 1064 nm, das ist die Grundwellenlänge dieses Laser-Typs.

Der Laserstrahl 3 wird einem Frequenzvervielfacher 4 zugeleitet, in dem durch Frequenzvervielfachung Laserpulse mit einer kürzeren Laserwellenlänge erzeugt werden. Ein Frequenzvervielfacher 4 besteht üblicherweise aus einem Kristall oder aus Kristallen, die aus einer Grundwellenlänge wenigstens eine zugehörige harmonische Wellenlänge erzeugen. Die kürzere Laserwellenlänge ist somit vorzugsweise eine harmonische Wellenlänge zur Grundwellenlänge des jeweiligen Laser-Typs; bei einem Nd:YAG-Laser betragen die harmonischen Wellenlängen z. B. 532 nm, 355 nm, 266 nm. Anstelle der Grundwellenlänge als längere Laserwellenlänge und einer harmonischen Wellenlänge als kürzere Laserwellenlänge können auch eine harmonische Wellenlänge als längere Laserwellenlänge und eine der darauf folgenden harmonischen Wellenlänge als kürzere Laserwellenlänge verwendet werden. Aus dem Frequenzvervielfacher 4 tritt somit ein mit durchgezogener Linie dargestellter erster Laserstrahl 5 aus, dessen Laserpulse eine größere Laserwellenlänge aufweisen, sowie ein mit unterbrochener Linie dargestellter zweiter Laserstrahl 6, dessen Laserpulse eine kürzere Laserwellenlänge aufweisen.

Nach dem Frequenzvervielfacher 4 treffen die Laserstrahlen 5 und 6 auf einen ersten Teilerspiegel 7, der beispielsweise aus einer dielektrisch beschichteten Glasplatte besteht und eine hohe Transmission für die längere Laserwellenlänge und eine hohe Reflexion für die kürzere Laserwellenlänge aufweist. In den durch den Teilerspiegel 7 getrennten Strahlwegen der beiden Laserstrahlen 5 und 6 ist jeweils ein Strahlunterbrecher 8 bzw. 9 angeordnet, die beispielsweise durch einen mechanischen Unterbrecher, einen sogenannten "Chopper" oder aus einem elektrisch ansteuerbaren Strahlschalter, z. B. Pockelszelle, gebildet sind. Nach den Strahlunterbrechern 8 und 9 werden die beiden Laserstrahlen 5 und 6 über einen zweiten Teilerspiegel 10 wieder zusammengeführt und koaxial zueinander ausgerichtet. Auch der zweite Teilerspiegel 10 besteht vorzugsweise aus einer dielektrisch beschichteten Glasplatte mit hoher Transmission für die größere Laserwellenlänge und hoher Reflexion für die kleinere Laserwellenlänge.

Durch eine entsprechende Betätigung der Strahlunterbrecher 8 und 9 können beispielsweise Laserpulse des einen Typs (z. B. mit größerer Laserwellenlänge) mit Laserpulsen des anderen Typs (z. B. mit kürzerer Laserwellenlänge) ineinander abwechseln. Ebenso ist es möglich, eine Serie von Laserpulsen des einen Typs mit einer Serie von Laserpulsen des anderen Typs abzuwechseln. Für eine bestimmte Anwendung kann es auch zweckmäßig sein, die beiden Laserstrahlen 5 und 6 bzw. deren Laserpulse gleichzeitig am jeweiligen Werkstück auftreffen zu lassen.

Entsprechend Fig. 2 ist eine Laseranordnung 11 bei einer

ebenfalls als Laserbohrvorrichtung ausgebildeten Vorrichtung nach der Erfindung mit einem zum Bohren geeigneten gepulsten Laser 12, vorzugsweise mit einem Festkörperlaser, ausgestattet, der einen Resonator 13 aufweist, in dem ein Laserkristall 19 angeordnet ist, das beispielsweise als Rod-Kristall oder Slab-Kristall ausgebildet ist. In einem Resonator 13 der Laseranordnung sind beiderseits des Lasers 12 ein erstes Brewsterfenster 14 sowie ein zweites Brewsterfenster 15 angeordnet, mit deren Hilfe eine lineare Polarisation des vom Laser 12 erzeugten Laserstrahles durchgeführt wird. Im Resonator 13 ist außerdem eine Pockelszelle 16 angeordnet, die für Laserpulse mit einer vorgegebenen längeren Pulsdauer freilaufend geschaltet ist und für Laserpulse mit einer vorbestimmter kürzeren Pulsdauer als Güteschalter arbeitet. Die lange Pulsdauer kann beispielsweise 150 µs betragen, während die kurze Pulsdauer beispielsweise 10 ns beträgt.

Des weiteren sind im Resonator 13 ein Endspiegel 17 sowie ein Auskoppelspiegel 18 angeordnet.

Bei einer Ausführung mit einem Slab-Kristall sind die Brewsterfenster 14 und 15 nicht erforderlich. Anstelle einer Pockelszelle 16 kann auch ein anderer geeigneter Güteschalter verwendet werden. Außerdem ist es möglich, die Vorrichtung 11 mit unterschiedlichen Laserwellenlängen aufzubauen, um die Einkopplung für verschiebene Materialien anzupassen. Bei der Vorrichtung 11 gemäß Fig. 2 kann die Laseranregung sowohl mit Blitzlampen als auch mit Dioden erfolgen.

Zur Durchführung einer Laserbohrung kann die Laseranordnung 11 dann so betrieben werden, daß sich Laserpulse mit langer Pulsdauer und Laserpulse mit kurzer Pulsdauer abwechseln. Ebenso kann eine Serie von Laserpulsen des einen Typs (z. B. mit langer Pulsdauer) auf eine Serie von Laserpulsen des anderen Typs (z. B. mit kurzer Pulsdauer) folgen. Auf diese Weise ist es insbesondere möglich, während einer ersten Bohrphase mit Laserpulsen mit der längeren Pulsdauer in einem Werkstück die darin einzubringende Bohrung rasch bis zu einer gewünschten Bohrtiefe voranzutreiben und während einer zweiten Bohrphase mit Laserpulsen mit der kurzen Pulsdauer diese Bohrung zu säubern bzw. zu präzisieren.

Im Unterschied zu den gezeigten Ausführungsbeispielen, in denen die Laserstrahlen mit sich in ihren Parameterwerten unterscheidenden Laserpulsen innerhalb eines Lasersystems erzeugt werden, sind auch andere Ausführungsformen möglich, bei der die jeweilige Laseranordnung wenigstens zwei Lasersysteme aufweist, die jeweils einen Laserstrahl mit einem Laserpulstyp erzeugen, wobei sich die Parameterwerte der Laserpulse bei den Lasersystemen unterscheiden. Eine solche Laseranordnung weist dann eine entsprechende Optikanordnung auf, um die unterschiedlichen Laserstrahlen koaxial zueinander auszurichten.

#### Patentansprüche

1. Vorrichtung zum Abtragen von Material bei einem Werkstück mittels eines Laserstrahles (5, 6), insbesondere Laserbohrvorrichtung, umfassend eine Laseranordnung (1; 11) zur Erzeugung des Laserstrahles (5, 6) aus wenigstens einem Laserpuls, der Parameterwerte zumindest für Pulsdauer, Pulsabstand, Laserwellenlänge, Laserintensität aufweist, dadurch gekennzeichnet, daß die Laseranordnung (1; 11) wenigstens zwei Typen von Laserpulsen erzeugt, die sich hinsichtlich mindestens eines Parameterwertes unterscheiden.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß sich die Laserpulstypen hinsichtlich Laserwellenlänge und/oder Pulsdauer und/oder Laserin-

tensität und/oder Pulsabstand unterscheiden.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Laseranordnung (1; 11) einen Laserstrahl erzeugt, bei dem mindestens ein Laserpuls des einen Typs auf wenigstens einen Laserpuls des anderen Typs folgt. 5

4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Laseranordnung (1; 11) zwei koaxiale Laserstrahlen (5, 6) erzeugt, von denen der eine aus Laserpulsen des einen Typs und der andere aus Laserpulsen des anderen Typs besteht. 10

5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Laseranordnung (1; 11) zwei Laser aufweist, von denen der eine einen Laserstrahl mit mindestens einem Laserpuls des einen Typs und der andere einen Laserstrahl mit mindestens einem Laserpuls des anderen Typs erzeugt, wobei die Laseranordnung eine Optikanordnung aufweist, die die Laser zusammenschaltet und deren Laserstrahlen koaxial ausrichtet. 20

6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Pulsdauer des einen Laserpulstyps wenigsten um einen Faktor 10<sup>3</sup> größer oder kleiner als die Pulsdauer des anderen Laserpulstyps ist.

7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Laserwellenlängen der Laserpulstypen zueinander harmonisch sind. 25

8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Laserpulstyp mit der kürzeren Pulsdauer eine höhere Laserintensität aufweist als der Laserpulstyp mit der längeren Pulsdauer. 30

9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Pulsdauer wenigstens eines der Laserpulstypen etwa so groß ist wie die zur Durchführung eines Materialabtragungsvorganges, insbesondere einer Bohrung, erforderliche Zeitdauer. 35

---

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

---

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -

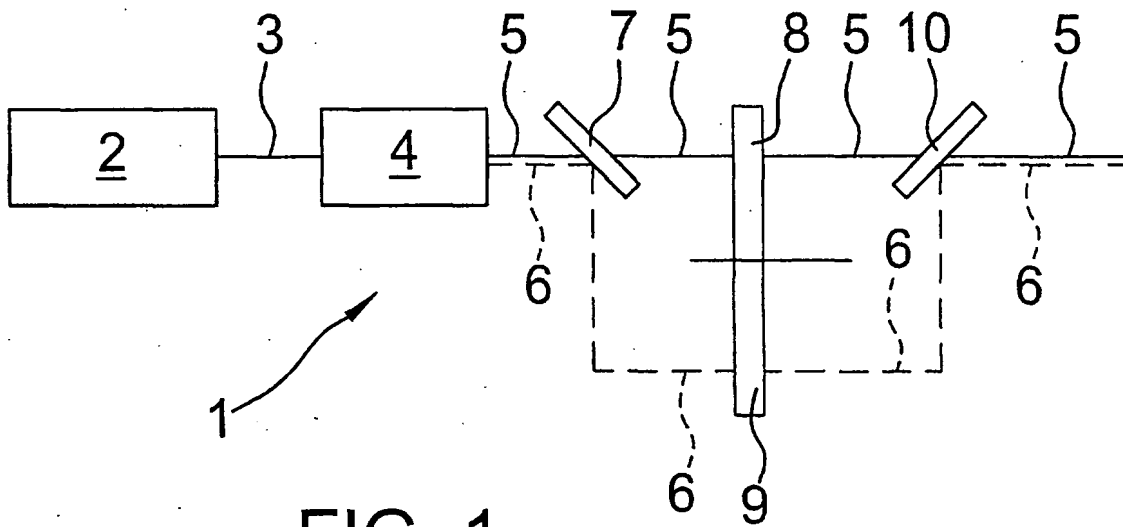


FIG. 1

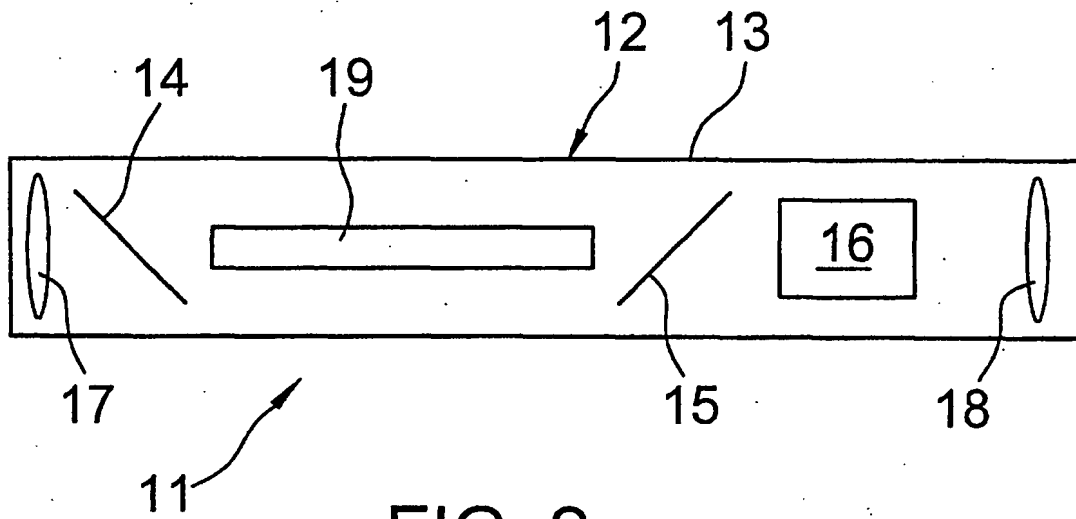


FIG. 2